

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002- 127058

(43)Date of publication of application : 08.05.2002

(51)Int.Cl.

**B25J 9/22**  
**B25J 13/00**  
**// A61H 1/02**

(21)Application number : 2000- 326304

(71)Applicant : SANYO ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 26.10.2000

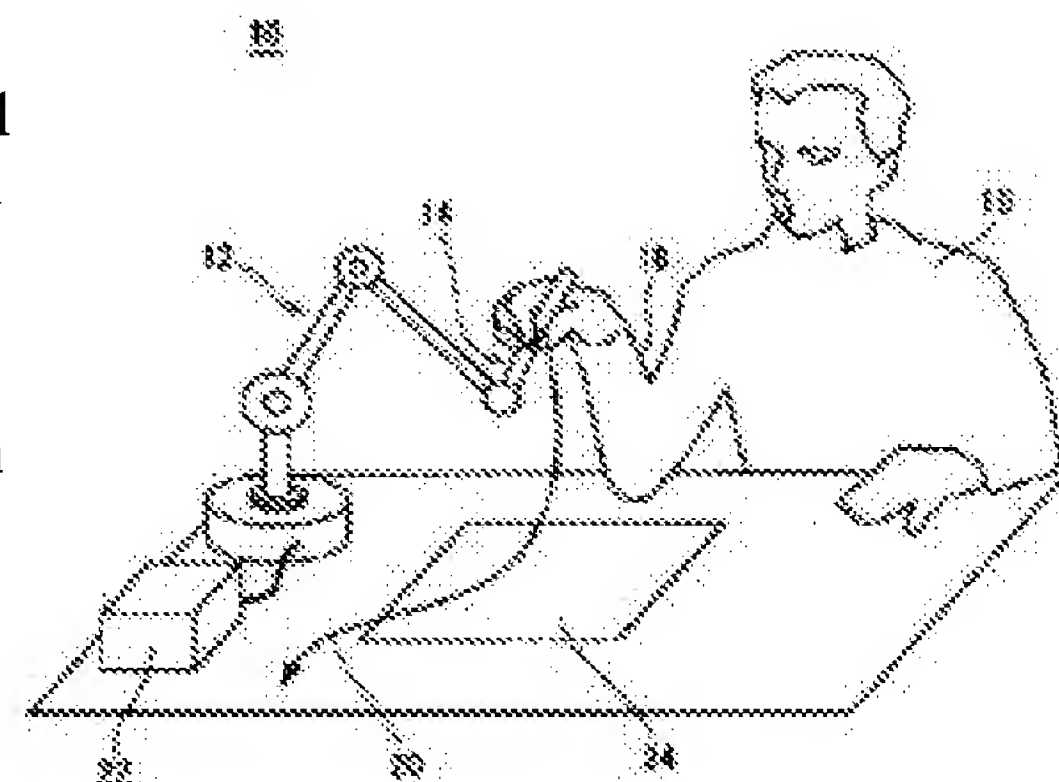
(72)Inventor : KAWAKAMI HIDEO

(54) TRAINING ROBOT, TRAINING ROBOT SYSTEM AND TRAINING ROBOT CONTROL METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To secure safety by imparting flexibility of restriction to a motional trajectory and time, and perform a smooth action for reducing an unpleasant feeling and a burden.

SOLUTION: This training robot 10 takes three- dimensional action of the body by a person on the basis of training and skill in a robot controller 22 including a computer for controlling a robot arm 12 as teaching data, and presents the motion again to a patient or a user 16 or a trainee directly or via a network 52 to perform a training action on the limbs, for example, the upper limbs of the person supported by the robot arm.



\* NOTICES \*

**JO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]Into a driving means which drives a robot arm, and a three- dimensional operation orbit determined based on movement based on operation and an act of the body by people. A training robot having a movement reproduction control means which controls said driving means so that a motion of people's limbs supported by said robot arm reproduces said three- dimensional operation orbit based on movement data produced by associating speed and time.

[Claim 2]The training robot according to claim 1 including a restriction means which controls said robot arm so that said movement reproduction control means performs a flexible restraint for people's limbs supported by said robot arm to said three- dimensional operation orbit.

[Claim 3]The training robot according to claim 2 with which said restriction means contains a means to generate traction or a resistance force in a tangential direction in accordance with said three- dimensional operation orbit.

[Claim 4]The training robot according to any one of claims 1 to 3 which has further a displaying means which displays an orbit of said robot arm of operation [Claim 5]The training robot according to any one of claims 1 to 4 which has further a data storage means by which said movement data was saved.

[Claim 6]The training robot according to claim 5 which has further a teaching data acquisition means which acquires movement based on operation and an act of the body by people as teaching data.

[Claim 7]A computer which creates training and three- dimensional operation of the body by a person based on skill as movement data, and saves them, A training robot system including a training robot which reproduces movement data received via a means of communication which distributes said movement data to a user, and said means of communication from said computer in three- dimensional operation of people, and shows a user.

[Claim 8]The training robot system according to claim 7 with which said training robot contains a ROBO@TTO controller and a robot arm.

[Claim 9]It is the control method of a training robot which controls a robot arm to reproduce a three- dimensional operation orbit determined based on movement based on operation and an act of the body by people, A training robot's control method which controls said robot arm based on movement data produced by relating speed and time with said three- dimensional operation orbit to perform a flexible restraint for people's limbs supported by said robot arm to said three- dimensional operation orbit.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

**JO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] Especially this invention relates to the training robot which can reproduce three- dimensional operation of the body by people, and can show people, the training robot system which shows a user this three- dimensional movement through a network, and a training robot's control method about a training robot.

[0002]

[Description of the Prior Art] For example, in accordance with the orbit of operation which taught operation of the routine work in a factory on- line or off- line, and was registered, the robot itself moves to a robot arm correctly, and the efficiency of assembling work, such as parts, etc. is increased.

[0003] However, it is not a thing in consideration of the conventional orbital instruction and generation / movement algorithm recording the three- dimensional movement of the body by people itself for a robot's own movement (registration), and reproducing operation of people and an act.

[0004] By the way, a robot has a teaching playback system as a method of teaching operation. This method is a technique with which a trainer etc. drive a robot arm by hand, and teach operation so that the position and posture of a request of a robot may actually be taken.

[0005] There is also a programming method which programs and teaches operation of a robot using a robot programming language. This programming method contains the CRT display as a display further with a computer, and the keyboard as an input device and mouse which were connected to this computer.

[0006] And a computer generates an operation program by analyzing the operation model inputted by the input device and expressing the contents with a predetermined robot programming language, and. Sending the operation program under generation to a robot controller, a robot controller operates a robot based on the operation program completed by the input of teaching data.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Although it is dramatically useful to, record and save model operation and training operation as a three- dimensional positional attitude, speed, and temporal data on the other hand in movement of persons, such as training (training), rehabilitation training, and assistance of operation, and the act of a sport, art like calligraphy, etc., and to reproduce the movement and act to people, It was difficult to apply to people from fields, such as safety and operativity, by an old robot.

[0008] So, the main purpose of this invention records three- dimensional movement of operation of people, an act, etc., It is providing the training robot system which showed many users the training robot which can present three- dimensional movement of operation, an act, etc. recorded to people, and this three- dimensional movement through the network.

[0009]

[Means for Solving the Problem] This invention into a three- dimensional operation orbit determined based on movement based on operation and an act of the body by a driving means and those who drive a robot arm. He is a training robot having a movement reproduction control means which controls a driving means so that a motion of people's limbs supported by robot arm reproduces a



three- dimensional operation orbit based on movement data produced by associating speed and time.

[0010] A computer which other inventions create three- dimensional operation of the body by a person based on training, skill, etc. as movement data, and is saved, It is a training robot system including a means of communication which distributes movement data to a user from this computer, and a training robot which reproduces movement data received via this means of communication in three- dimensional operation of people, and shows a user.

[0011] Other inventions are the control methods of a training robot which controls a robot arm to reproduce a three- dimensional operation orbit determined based on movement based on operation and an act of the body by people, It is a training robot's control method which controls a robot arm based on movement data produced by relating speed and time with this three- dimensional operation orbit to perform a flexible restraint for people's limbs supported by robot arm to a three- dimensional operation orbit.

[0012]

[Function] In the case of movement reproduction, as opposed to the created orbit of operation, it does not restrain by high rigidity like a robot arm, but by applying a virtual dynamic variable spring and damper control to the position gap from an orbit, suitable permission is accepted and smooth movement reappearance is realized. It is possible to always give the power to an orbital tangential direction in reproduction of this standard movement, and the movement assistance which gives traction, or the movement resistance which gives a resistance force can be dynamically changed according to an operating state. Many users can receive training operation of three- dimensional movement simultaneously through a network.

[0013]

[Effect of the Invention] According to this invention, three- dimensional movement of operation of people, an act, etc. is acquired as data, using a robot arm for example as a training robot, At the time of the movement reproduction to people, since the restraint over the orbit of standard movement and time has strange, dynamically good pliability, it is safe, and little smooth movement of the burden to displeasure or the body is attained.

[0014] The above- mentioned purpose of this invention, the other purposes, the feature, and an advantage will become still clearer by detailed explanation of working example given to below with reference to Drawings.

[0015]

[Example] Drawing 1 is a perspective view for explaining the outline composition of the training robot which shows one working example of this invention.

[0016] For example, in general training of the rehabilitation of an upper extremity, etc. of operation, when a medical practitioner, a physical therapist, etc. do various kinds of movements with a patient's hand etc., usually train, but. By applying this invention, upper extremity training using a robot arm and training assistance are attained, for example.

[0017] That is, the therapist equips with a robot arm first the arm which is a part of body as training equipment himself as a record method of training operation, for example, rehabilitation operation is performed in a teaching mode, and the three- dimensional operation is sampled. And the sampled operation is saved in the memory of a computer, when a patient performs training operation, it reads from a memory, and operation is reproduced.

[0018] As other methods, after the patient (a user and a trainer are included) has equipped a part of body with training equipment, the therapist attaches a hand and performs rehabilitation operation in a teaching mode, for example, and the three- dimensional operation is sampled. And the sampled model operation (standard operation) is saved in the memory of a computer, when a patient performs training operation anew, it reads from a memory, and operation is reproduced.

[0019] The operation according to a case is beforehand read into the memory of a computer from preservation or the exterior as the other methods, and operation is henceforth reproduced as explained previously.

[0020] The person who applied correspondingly the tip part 14 of the robot arm 12 in which this training robot 10 has 3 flexibility to utilization time in drawing 1. (For example, user including a patient and a trainer) Where grasping or a wrist part is equipped by the upper extremity 18 of 16, it becomes the instruction orbit 20 of upper extremity training movement, for example, a physical therapist's natural three- dimensional movement (the position P, speed (V) of X, Y, and Z) is

continuously acquired at a suitable interval (time or datum reference). This is explained in detail based on drawing 2.

[0021] First, each sign on the instruction orbit 20 shown in drawing 2 expresses the following contents.

[0022] P1, P2, --, Pn, -- Pm (the position of eye Pn:n watch, m: the number of acquired points)

V1, V2, --, Vn, -- Vm (speed in the position Pn of eye Vn:n watch)

T1, T2, --, Tn, -- Tm (lapsed time in the position Pn of eye Tn:n watch)

And the three- dimensional spline curve orbit which complements these smoothly based on the acquired position Pn is generated and saved.

[0023] Under the present circumstances, as the X- axis is set up as a key axis and it is shown in drawing 3, the two- dimensional spline curve in each flat surface is calculated by projecting each point on a X- Y flat surface and a X- Z flat surface, for example, it calculates by computer, and a three- dimensional smooth curve orbit as shown in drawing 2 is acquired by compounding these.

And as shown in drawing 3 and drawing 4, the section [Xo, Xmax] is suitably divided about the X- axis (J 1, J 2, --, J u, J u+1, -- J nmax), and curvilinear data is dispersed for an orbital operation.

[0024] On the other hand, a patient or the user 16 performs movement training of the upper extremity 18, where it grasped or a wrist part is equipped with the tip part 14 in which posture 3 flexibility of the robot arm 12 is free by the upper extremity 18 like the time of standard movement creation in training. Jo Sorama's virtual three- dimensional orbit 20 which loaded the standard movement data saved, for example in the memory (RAM) of the computer to the robot controller 22 containing a microcomputer at this time, and was reproduced based on this so that the upper extremity 18 may move, When power is added to the upper extremity 18 via the robot arm 12 driven with drives, such as a servo motor, the user 16 can feel as the space and a time restraint to standard movement, and can realize movement training by three- dimensional Sorama of the upper extremity 18.

[0025] Arrange the above- mentioned training robot's 10 utilization time, and the object based on the display 24 at movement evaluation of the gap from the instruction orbit 20, power, etc., a status display, or virtual train contents synchronizing with movement, and presence is shown, and it is possible to perform coordination operation of eyes and a hand etc.

[0026] Under the present circumstances, although the flexible restraint to the instruction orbit and the movement direction of standard movement which were generated is given, that concrete method is as follows.

[0027] namely, -- in drawing 4 and drawing 5 -- every control cycle of the training robot 10 -- the current position Qnow of the position (people's wrist position) of the tip part 14 of the robot arm 12, and the control point J n (n=0 --) on a three- dimensional orbit It searches for the point J u these days [ with nmax ], and unit vector e of point J u- >J u+1 direction is defined from these two points unit vector [ of the direction of current position Qnow- >J u ] i, and these days on an orbit.

[0028] Here, unit vector i considers it as the return (restraint) power direction vector to an orbit, and unit vector e is taken as a movement direction vector. When search of the point J u uses the past searching history these days, a computer can search at high speed.

[0029] The orbital return (restraint) power Fi in drawing 5 is expressed with the function which several 1 defines.

[0030]

[Equation 1]  $F_i = f(du, v_n)$  -- here -- the distance between the du:current position Qnow- control points J u, and the tip motion velocity of v\_n:robot arm -- specifically, For example, when it sets to  $F_i = K_i \cdot du - D_i \cdot v_n$ , it can restrain flexibly to the point on the orbit given with standard movement data with a spring with the virtual current position Qnow of the robot arm 12, and a damper element.

[0031] By above- mentioned control, a patient or the user 16 can realize training of operation which met three- dimensional standard movement fundamentally by equipping a wrist etc. with the tip part 14 of the robot arm 12. Under the present circumstances, since flexible restricted control is performed, it can prevent adding a burden and load with a patient or the user 16 impossible for, and safe training operation can be performed.

[0032] It is possible to adjust pliability with a dynamic change of Ki and Di parameter according to physical conditions and a movement situation.

[0033] The grade individual difference which has also applied the same standard movement data as



another effect of flexible restricted control to the patient or the user 16 from whom the body characteristics, such as the length of an arm (upper extremity) and an angle of bend, differ, for example is absorbed, and smooth movement can be realized. It becomes possible to soften the shock at the time of continuation movement on an orbit, and smooth operation which met into orbit can be performed.

[0034] Next,  $F_e$  which is the time binding force, traction, or load force of an orbital direction is calculated as follows.

[0035] That is, since an orbital- direction vector is given by unit vector  $e$  explained previously, the size of this load force  $F_e$  can be expressed with several 2.

[0036]

[Equation 2]  $F_e = g(v_r, v_n, t_r, t_n)$  -- here, the binding force  $F_e$  of this orbital direction the target passage time in the control point  $J_n$  in the lapsed time  $t_r$ : standard movement data from the target speed  $t_n$ : movement start in the control point  $J_n$  in the tip motion velocity  $v_r$ : standard movement data of  $v_n$ : robot arm, It can express with several 3 as a concrete example.

[0037]

[Equation 3]  $F_e = \text{helium} + S_e \text{ and } (v_r - v_n - v_h) - D_e - v_n + C_e$  -- here -- helium: time restricted paragraph coefficient --  $S_e$ : speed restricted paragraph coefficient-  $D_e$ : viscosity paragraph coefficient-  $C_e$ : fixed traction (fixed load force)

a  $t_h$ : time restricted paragraph correction term  $v_h$ : speed restricted paragraph correction term -- safety being secured and by controlling a rapid speed change, by this, Feedback is applied so that time restraint based on standard movement data or speed feedback may be performed by performing parameter adjustment if needed and standard movement time may be followed.

[0038] However,  $(t_r - t_n - t_h)$  and  $(v_r - v_n - v_h)$  make  $t_h$  and  $v_h$  the paragraph which can be adjusted dynamically in order to give pliability to a restraint so that a deviation may not become large above to some extent for safety.

[0039] By adjusting above- mentioned  $C_e$  paragraph of several 3, applying the traction  $F_e$  according to the situation of rehabilitation training, and caring for movement, or applying load force (traction of a negative direction), muscle training can be repeated and can be performed, for example.

[0040] The block diagram explaining the composition of this training robot's 10 hardware is shown in drawing 6.

[0041] The training robot 10 in drawing 6 The robot arm 12 as a robot body, The teaching data of standard movement is received from the external personal computer (henceforth a "computer") 26, and the robot controller 22 which processes this data and drives the robot arm 12 is included.

[0042] The pilot lamp 32 which displays the limit switch (not shown) which performs the potentiometer 30 and restriction of operation of detecting the servo motor 28 as a driving source and the actual active position of the robot arm 12, and an operating state on the robot arm 12 is formed.

[0043] On the other hand, the robot controller 22, In order to deliver and receive immediate data between the central processing unit (CPU) 34, the communication interface (communication I/F) 36 which connects this CPU 34 and computer 26, the memory card 38 which saves various data, and CPU 34. The connected memory card input output section (memory card I/O) 40 and the memory part 42 which is connected to CPU 34 and saves data are included. It is connected to memory card I/O 40, and preserved data is mutually delivered [ this memory part 42 ] and received between the memory cards 38.

[0044] The robot control program is memorized by the memory part 42 as preserved data. The memory card 38 is what saves personal data, such as movement data and individual training record, For example, read personal data into CPU 34 from the memory card 38 at the time of a training start, operation required for the robot arm 12 is made to perform, and it is used for the purpose of saving personal data after the end of training.

[0045] furthermore -- between CPU 34 and the servo motors 28 -- D/A converter 44 and the drive circuit 46. Between the potentiometers 30, the interface (PIO) 50 is formed, respectively between the A/D converter, the limit switch which is not illustrated further, and the pilot lamp 32.

[0046] Next, the operation in above- mentioned composition is explained.

[0047] First, the teaching data of three- dimensional standard movement based on people's operation and action is loaded to CPU 34 via communication I/F 36 of the robot controller 22 from the computer 26. And in the robot controller 22, required preserved data is read from the memory

part (ROM and RAM are included) 42 and the memory card 38, and orbital creation, orbital calculation, or movement reproduction calculation is performed CPU34. The result is changed into an analog signal with D/A converter 44, driving current is supplied to the servo motor 28 from the drive circuit 46, the robot arm 12 drives, and three- dimensional movement based on the teaching data of standard movement is shown to people. Thereby, training operation of the upper extremity 18 of a patient or the trainer 16 can be performed, for example.

[0048] In this case, the actual active position of the robot arm 12 is detected by the potentiometer 30, and that analog signal is changed into a digital signal by A/D converter 48, and is inputted into CPU34. In CPU34, the servo motor 28 is controlled by calculating the gap (deviation) with the teaching data of standard movement, and giving a deviation signal to the drive circuit 46 via D/A converter 44, and the orbital return of the robot arm 12 is performed. The robot controller 22 is connectable with a network via the computer 26.

[0049] The robot controller 22 performs one of the external pilot lamp 32, and OFF by PIO50, or two or more one of the limit switch formed in the robot arm 12 and OFF are read simultaneously, and safety of operation is secured. And the instruction orbit 20 calculated from the robot controller 22 and the movement track based on operation of the robot arm 12 are displayed on the indicator (display) 24, and as explained previously, the trainer 16 can perform coordination operation of eyes and a hand.

[0050] The guide control flow chart of the robot arm shown of operation is explained to drawing 7 and drawing 8.

(1) Standard movement creation flow : in drawing 7, the robot control program memorized by ROM of the memory part 42 of the robot controller 22 at Step S1 is first set as a teaching mode of operation.

[0051] Next, teaching data is generated at Step S3 by the therapist's instruction movement, operation by a user, reading of preserved data, or the other methods. In this working example, reading of the preserved data based on the computer 26 generates the three- dimensional movement teaching data of the body by people.

[0052] At Step S5, three- dimensional movement teaching data is gained from the computer 26 to CPU34 of the robot controller 22 via communication I/F36, in Step S7, three- dimensional trajectory generation is performed by CPU34, and a three- dimensional orbit is created. And in step S9, the data about the three- dimensional orbit created at the front step S7 is saved at RAM of the memory part 42. Now, creation of a standard movement track is completed.

(2) Movement reproduction flow : the upper extremity 18 of the user 16 who receives training assumes in this case that wearing or the tip part 14 is already grasped to the tip part 14 of the robot arm 12, for example.

[0053] In drawing 8, the robot control program saved at Step S11 at ROM of the memory part 42 of the robot controller 22 is set as reproduction mode of operation. And the teaching data of a three- dimensional standard movement track saved at RAM of the memory part 42 is read into CPU34.

[0054] Next, in Step 13, the actual active position of the robot arm 12 is detected by the potentiometer 30, and the detecting signal is fed back to CPU34 as a digital signal via A/D converter 48. In Step S15, based on the fed- back detecting signal, the position and the amount of time lags from a standard movement track are calculated by CPU34, and the generated reaction of the robot arm 12 for an orbital return is calculated at Step S17 according to this amount of gaps.

[0055] And at Step S19, the driving current corresponding to the generated reaction calculated at Step S17 is supplied to the servo motor 28 from the drive circuit 46, and it drives so that the orbital return of the robot arm 12 may be carried out. Under the present circumstances, it corrects to Step S13 so that change and adjustment of a virtual spring, a viscous parameter, etc. which does not carry out the position restraint of the user's 16 upper extremity 18 more nearly thoroughly than the robot arm 12 can perform a smooth orbital return.

[0056] According to the flow shown in drawing 7, the data about people's three- dimensional operation orbit may be acquired, and the flow shown in drawing 8 based on the data obtained here may be performed with other training robots.

[0057] Next, other working example (the 2nd working example) of this invention shown in drawing 9 is described.

[0058] Extend the robot arm 12 shown in the 1st working example described previously in this 2nd

working example, and the attitude control of three axes is added, It is possible by adding 3 axis attitude control part 25 to the tip part 14 of the robot arm 12, and constituting the robot arm 12 of six or more axes to perform movement presentation including a posture. Thereby for example, it becomes applicable to training of the pictures which need attitude control, calligraphy, \*\*\*\*, etc.

[0059] Furthermore it is based on this invention shown in drawing 10, other working example (the 3rd working example) is the training robot systems which station the training robot 10 of the 1st working example and the 2nd working example which explained previously, for example in a user's house, a training center, etc., and enabled it to use him for many people through a network.

[0060] The robot 10 for training which explained the teaching data of standard movement previously from the host computer (external server), for example via the Internet 52 by using in a network as shown in drawing 10 (a) to two or more patients or users 16 who own Distribution, Or it is possible to transmit and receive mutually, to save on-line or this movement teaching data at the memory part 42 of the robot controller 22, and to perform movement reproduction off-line.

[0061] As shown in drawing 10 (b), movement teaching data is distributed to two or more robots 10 for training from a host computer (external server) in real time, 54, such as a lecturer, is able to perform training of calligraphy etc. through the networks 52, such as the Internet, simultaneously to two or more participants (user) 16, for example.

---

[Translation done.]



\* NOTICES \*

**JO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]It is a perspective view explaining the outline composition of the training robot which shows the 1st working example by this invention.

[Drawing 2]It is a perspective view of the three- dimensional orbit data used by this invention.

[Drawing 3]It is an orbital exploded view in the X- Y flat surface in drawing 2, and a X- Z flat surface.

[Drawing 4]It is a key map for performing calculation of the orbital return (restraint) power in drawing 2, and orbital- direction binding force.

[Drawing 5]They are other key maps equivalent to drawing 4.

[Drawing 6]It is a block diagram showing the composition of the hardware of training ROBOTTOA by this invention.

[Drawing 7]It is a control flow chart which shows operation of the standard movement creation by a robot arm.

[Drawing 8]It is a control flow chart which shows operation of the movement reproduction by a robot arm.

[Drawing 9]It is a slant- face figure showing the outline composition of the training robot containing the attitude control part which are other working example of this invention.

[Drawing 10](a) And (b) is an explanatory view of the training robot system with which all used the network which is working example of further others of this invention.

[Description of Notations]

10 - - Training robot

12 - - Robot arm

14 - - Tip part of a robot arm

15 - - Grasping and applied part

16 - - User (a patient or a trainer also contains)

18 - - Upper extremity

20 - - Instruction movement track

22 - - Robot control part (robot controller)

24 - - Indicator (display)

25 - - Attitude control part

26 - - Computer

52 - - Internet (means of communication)

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-127058  
(P2002-127058A)

(43) 公開日 平成14年5月8日(2002.5.8)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
B 2 5 J 9/22		B 2 5 J 9/22	Z 3 F 0 5 9
13/00		13/00	Z
// A 6 1 H 1/02		A 6 1 H 1/02	Z

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-326304(P2000-326304)

(22) 出願日 平成12年10月26日(2000.10.26)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成12年度新エネルギー・産業技術総合開発機構、医療福祉機器技術研究開発身体機能リハビリ支援システム委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

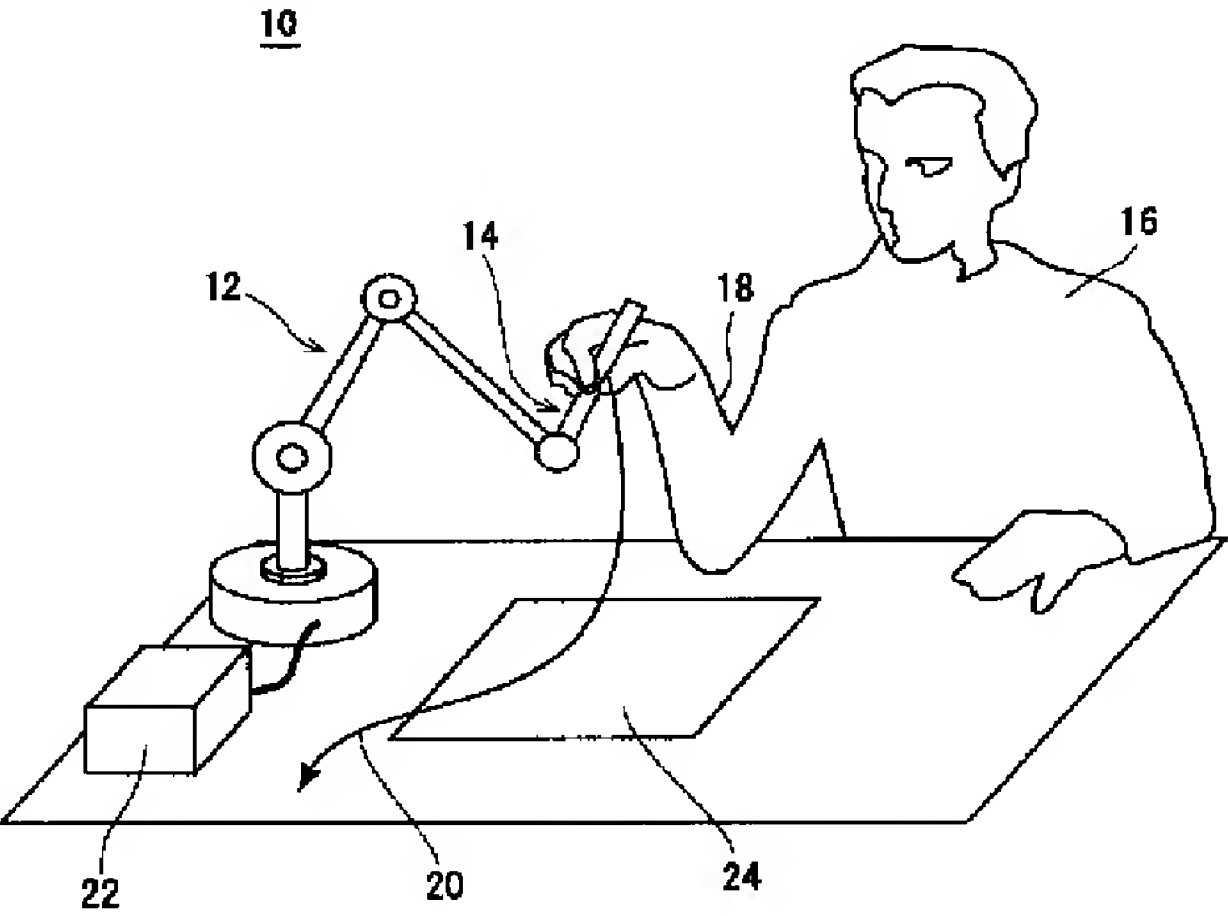
(71) 出願人 000001889  
三洋電機株式会社  
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号  
(72) 発明者 河上 日出生  
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内  
(74) 代理人 100090181  
弁理士 山田 義人  
Fターム(参考) 3F059 AA10 BC04 BC07 DA08 FA03  
FB01 FB05 FC07

(54) 【発明の名称】 訓練ロボット、訓練ロボットシステムおよび訓練ロボットの制御方法

(57) 【要約】

【構成】 この訓練ロボット10は、訓練、スキルに基づく人による身体の3次元動作を教示データとして、ロボットアーム12を制御するコンピュータを含むロボットコントローラ22に取り込み、改めてその運動を直接またはネットワーク52を通じて患者または利用者16あるいは訓練者等に提示することにより、ロボットアームに支持される人の肢体、例えば上肢の訓練動作を実行する。

【効果】 運動軌道、時間に対する拘束の柔軟性を有するため、安全性を確保できると共に、不快感や負担の少ない滑らかな動作が可能となるものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】ロボットアームを駆動する駆動手段、および人による身体の動作や行為に基づく運動を元に決定された 3 次元動作軌道に、速度および時間を関連づけて得られた運動データに基づき、前記ロボットアームにより支持された人の肢体の動きが前記 3 次元動作軌道を再生するように前記駆動手段を制御する運動再生制御手段を備える、訓練ロボット。

【請求項 2】前記運動再生制御手段は、前記ロボットアームにより支持された人の肢体を、前記 3 次元動作軌道に対して柔軟な拘束を行うように前記ロボットアームを制御する拘束手段を含む、請求項 1 記載の訓練ロボット。

【請求項 3】前記拘束手段は、前記 3 次元動作軌道に沿って接線方向に牽引力または抵抗力を発生する手段を含む、請求項 2 記載の訓練ロボット。

【請求項 4】前記ロボットアームの動作軌道を表示する表示手段をさらに備える、請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の訓練ロボット

【請求項 5】前記運動データが保存されたデータ保存手段をさらに備える、請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の訓練ロボット。

【請求項 6】人による身体の動作や行為に基づく運動を教示データとして取得する教示データ取得手段をさらに備える、請求項 5 記載の訓練ロボット。

【請求項 7】訓練やスキルに基づく人による身体の 3 次元動作を運動データとして作成し保存するコンピュータ、前記コンピュータから前記運動データを利用者に配信する通信手段、および前記通信手段を介して受信した運動データを人の 3 次元動作に再現して利用者に提示する訓練ロボットを含む、訓練ロボットシステム。

【請求項 8】前記訓練ロボットは、ロボットコントローラおよびロボットアームを含む、請求項 7 記載の訓練ロボットシステム。

【請求項 9】人による身体の動作や行為に基づく運動を元に決定された 3 次元動作軌道を再生するようにロボットアームを制御する訓練ロボットの制御方法であって、前記 3 次元動作軌道に速度および時間を関連づけて得られた運動データに基づき、前記ロボットアームにより支持された人の肢体を前記 3 次元動作軌道に対して柔軟な拘束を行うように前記ロボットアームを制御する、訓練ロボットの制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は訓練ロボットに関し、特にたとえば人による身体の 3 次元動作を再現して人に提示することができる訓練ロボット、この 3 次元運動をネットワークを通じて利用者に提示する訓練ロボットシステム、および訓練ロボットの制御方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】例えば、ロボットアームに工場内の定型作業の動作をオンラインまたはオフラインで教示し、登録した動作軌道に沿ってロボット自身が正確に移動して部品等の組み立て作業などの効率化を行っている。

【0003】しかしながら、従来の軌道教示・生成・運動アルゴリズムはロボット自身の運動を対象としたものであり、人による身体の 3 次元運動そのものを記録（登録）し、人の動作や行為を再現することを考慮したものではない。

【0004】ところで、ロボットに動作を教示する方法としてはティーチングプレイバック方式がある。この方式は、実際にロボットを所望の位置や姿勢をとるように訓練士などがロボットアームを手で駆動して動作を教示する手法である。

【0005】また、ロボット言語を用いてロボットの動作をプログラム化して教示するプログラミング方式もある。このプログラミング方式は、コンピュータと、このコンピュータに接続された入力装置としてのキーボードやマウスと、さらに表示装置としての CRT ディスプレイを含む。

【0006】そして、コンピュータは入力装置により入力された動作モデルを解析し、その内容を所定のロボット言語で表現することにより、動作プログラムを生成すると共に、生成中の動作プログラムをロボットコントローラに送り、ロボットコントローラは教示データの入力によって完成した動作プログラムに基づいてロボットを動作させるものである。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】一方、スポーツや書道のような芸術などの訓練（トレーニング）やリハビリ訓練、動作補助など人の運動や行為において模範動作や訓練動作を 3 次元位置姿勢、速度、時間データとして記録・保存し、人に対してその運動や行為を再現することは非常に有用であるが、これまでのロボットでは安全性や操作性などの面から人に適用することは困難であった。

【0008】それゆえに、この発明の主たる目的は、人の動作や行為などの 3 次元運動を記録し、人に対して記録した動作や行為などの 3 次元運動を提示することができる訓練ロボットおよびこの 3 次元運動を、ネットワークを通じて多くの利用者に提示するようにした訓練ロボットシステムを提供することである。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】この発明は、ロボットアームを駆動する駆動手段、人による身体の動作や行為に基づく運動を元に決定された 3 次元動作軌道に、速度および時間を関連づけて得られた運動データに基づき、ロボットアームにより支持された人の肢体の動きが 3 次元動作軌道を再生するように駆動手段を制御する運動再生制御手段を備える、訓練ロボットである。

【0010】また、他の発明は、訓練、スキル等に基づ



く人による身体の3次元動作を運動データとして作成し保存するコンピュータ、このコンピュータから運動データを利用者に配信する通信手段、およびこの通信手段を介して受信した運動データを人の3次元動作に再現して利用者に提示する訓練ロボットを含む、訓練ロボットシステムである。

【0011】更に、他の発明は、人による身体の動作や行為に基づく運動を元に決定された3次元動作軌道を再生するようにロボットアームを制御する訓練ロボットの制御方法であって、この3次元動作軌道に速度および時間を関連づけて得られた運動データに基づき、ロボットアームにより支持された人の肢体を3次元動作軌道に対して柔軟な拘束を行うようにロボットアームを制御する、訓練ロボットの制御方法である。

【0012】

【作用】運動再生の際、作成した動作軌道に対して、例えばロボットアームのように高剛性で拘束するのではなく、軌道からの位置ずれに対して仮想的な動的変ばね、ダンパ制御を適用することにより適当な許容を認め、スムーズな運動再現を実現する。また、この基準運動の再生において常時、軌道接線方向への力を与えることが可能であり、牽引力を与える運動補助、あるいは抵抗を与える運動抵抗等を動作状態により動的に切替えることができる。さらに、ネットワークを通じて多くの利用者が同時に3次元運動の訓練動作を受けることができる。

【0013】

【発明の効果】この発明によれば、訓練ロボットとして、例えば、ロボットアームを用いて人の動作や行為などの3次元運動をデータとして取得し、人への運動再生時、基準運動の軌道、時間に対する拘束が動的に可変な柔軟性を持つため安全で、かつ不快感や身体に対する負担の少ない滑らかな運動が可能となる。

【0014】この発明の上述の目的、その他の目的、特徴および利点は、図面を参照して以下に行う実施例の詳細な説明により一層明らかとなろう。

【0015】

【実施例】図1はこの発明の一実施例を示す訓練ロボットの概略構成を説明するための斜視図である。

【0016】例えば、上肢のリハビリなどの一般的な動作訓練においては、通常、医師や理学療法士などが患者の手等を持って各種の運動をさせることにより訓練を行うが、この発明を適用することにより、例えばロボットアームを用いた上肢訓練、および訓練補助が可能となるものである。

【0017】すなわち、まず、訓練動作の記録方法として、療法士が自ら訓練機器として、例えば、ロボットアームを身体の一部である腕部に装着し、教示モードにおいてリハビリ動作を行い、その3次元動作をサンプリングする。そして、サンプリングした動作をコンピュータ

(3)

特開2002-127058

のメモリに保存し、患者が訓練動作を行うときにメモリより読み出し、動作を再生する。

【0018】また、他の方法として、例えば、患者（利用者や訓練者を含む）が訓練機器を身体の一部に装着した状態で療法士が手を添えて教示モードにおいてリハビリ動作を行い、その3次元動作をサンプリングする。そして、サンプリングした模範動作（基準動作）をコンピュータのメモリに保存し、患者が改めて訓練動作を行うときにメモリより読み出し、動作を再生する。

【0019】更に、その他の方法として、予め症例に応じた動作をコンピュータのメモリに保存、または外部から読み込み、以後は先に説明した通りに動作を再生する。

【0020】図1において、この訓練ロボット10は、3自由度を有するロボットアーム12の先端部14を利用時に準じた人（例えば、患者や訓練者を含む利用者）16の上肢18で把持または手首部に装着した状態で上肢訓練運動の教示軌道20となる、例えば理学療法士の自然な3次元運動（X、Y、Zの位置P、速度V）を適当な間隔（時間、または位置基準）で連続して取得する。このことを図2に基づき詳細に説明する。

【0021】まず、図2に示す教示軌道20上の各記号は、以下の内容を表している。

【0022】P1、P2、…、Pn、…Pm（Pn：n番目の位置、m：取得ポイント数）

V1、V2、…、Vn、…Vm（Vn：n番目の位置Pnでの速度）

T1、T2、…、Tn、…Tm（Tn：n番目の位置Pnでの経過時間）

そして、獲得した位置Pnに基づいてこれらを滑らかに補完する3次元スプライン曲線軌道を生成・保存する。

【0023】この際、X軸をキー軸として設定し、図3に示すようにX-Y平面、X-Z平面に各点を投影して各平面における2次元スプライン曲線を計算、例えばコンピュータで計算し、これらを合成することにより図2に示されるような3次元の滑らかな曲線軌道を得る。そして、図3および図4に示すようにX軸に関して区間

[Xo, Xmax]を適当に分割（J1、J2、…、Ju、Ju+1、…Jnmax）し、軌道演算のため曲線データを離散化する。

【0024】一方、患者、または利用者16は訓練において基準運動作成時と同様にロボットアーム12の姿勢3自由度が自在の先端部14を上肢18で把持、または手首部に装着した状態で上肢18の運動訓練を行う。このとき、例えばコンピュータのメモリ（RAM）に保存した基準運動データを、マイコンを含むロボットコントローラ22にロードし、これに基づき再現された空間上の仮想的3次元軌道20を上肢18が動くように、サーボモータ等の駆動装置により駆動されるロボットアーム12を介して上肢18に力が加わることにより、利用者

50

16は基準運動への空間・時間拘束として体感することができ、上肢18の3次元空間での運動訓練が実現できる。

【0025】上述の訓練ロボット10の利用時、運動に同期してディスプレイ24に教示軌道20からのずれや力などの運動評価、状態表示、あるいは仮想的な訓練内容に即したオブジェクトを配置し、臨場感を提示すると共に目と手の協調動作を行うことなども可能である。

【0026】この際、生成した基準運動の教示軌道および運動方向への柔軟な拘束を与えるが、その具体的な方法は以下の通りである。

【0027】すなわち、図4および図5において、訓練ロボット10の制御周期毎にロボットアーム12の先端部14の位置（人の手首位置）の現在位置 $Q_{now}$ と3次元軌道上の制御点 $J_n$ （ $n=0\cdots, n_{max}$ ）との最近位点 $J_u$ を探索し、この2点から現在位置 $Q_{now} \rightarrow J_u$ 方向の単位ベクトル $i$ 、および軌道上の最近位点 $J_u \rightarrow J_{u+1}$ 方向の単位ベクトル $e$ を定義する。

【0028】ここで、単位ベクトル $i$ は、軌道への復帰（拘束）力方向ベクトル、単位ベクトル $e$ は、運動方向ベクトルとする。なお、最近位点 $J_u$ の探索は過去の探索履歴を利用することによりコンピュータで高速に探索することができる。

【0029】図5における軌道復帰（拘束）力 $F_i$ は、数1で定義する関数で表される。

【0030】

【数1】 $F_i = f(d_u, v_n)$

ここで、 $d_u$ ：現在位置 $Q_{now}$ －制御点 $J_u$ 間の距離、 $v_n$ ：ロボットアームの先端運動速度

具体的には、例えば、 $F_i = K_i \cdot d_u - D_i \cdot v_n$ と設定した場合、基準運動データにより与えた軌道上の点に対してロボットアーム12の現在位置 $Q_{now}$ が仮想的なばね、ダンパ要素により柔軟に拘束することができる。

【0031】上述の制御により、患者または利用者16はロボットアーム12の先端部14を手首等に装着することで基本的には3次元の基準運動に沿った動作訓練が実現できる。この際、柔軟な拘束制御を行っているため、患者または利用者16に無理な負担や負荷が加わることを防ぎ安全な訓練動作を行うことができる。

【0032】また、 $K_i$ 、 $D_i$ パラメータの動的な変更により身体状況、運動状況に応じて柔軟性を調整することが可能である。

【0033】更に、柔軟な拘束制御の別の効果として、例えば腕（上肢）の長さ、屈曲角度等の身体特性の異なる患者または利用者16に対して同一の基準運動データを適用してもある程度個人差を吸収して滑らかな運動を実現できる。また、軌道上の連続運動時の衝撃を和らげることが可能となり、軌道に沿った滑らかな動作を行うことができる。

【0034】次に、軌道方向の時間的拘束力、あるいは

牽引力または負荷力である $F_e$ は、以下の通り計算される。

【0035】すなわち、軌道方向ベクトルは先に説明した単位ベクトル $e$ で与えられるから、この負荷力 $F_e$ の大きさは、数2で表すことができる。

【0036】

【数2】 $F_e = g(v_r, v_n, t_r, t_n)$

ここで、 $v_n$ ：ロボットアームの先端運動速度

$v_r$ ：基準運動データ中の制御点 $J_n$ における目標速度

$t_n$ ：運動開始からの経過時間

$t_r$ ：基準運動データ中の制御点 $J_n$ における目標通過時間

この軌道方向の拘束力 $F_e$ を、具体的な例としては、数3で表すことができる。

【0037】

【数3】 $F_e = H_e \cdot (t_r - t_n - t_h) + S_e \cdot (v_r - v_n - v_h) - D_e \cdot v_n + C_e$

ここで、 $H_e$ ：時間拘束項係数

$S_e$ ：速度拘束項係数

$D_e$ ：粘性項係数

$C_e$ ：一定牽引力（一定負荷力）

$t_h$ ：時間拘束項補正項

$v_h$ ：速度拘束項補正項

これにより、急激な速度変化を抑制することにより安全性の確保を行い、必要に応じてパラメータ調整を行うことで基準運動データに基づく時間拘束、または速度フィードバックを行い基準運動時間に従うようにフィードバックをかける。

【0038】ただし、 $(t_r - t_n - t_h)$ 、 $(v_r - v_n - v_h)$ は、安全のためある程度以上偏差が大きくなならないよう拘束に柔軟性を持たせるため、 $t_h$ 、 $v_h$ を動的に調整可能な項とする。

【0039】また、リハビリ訓練の状況に応じて、上述の数3の $C_e$ 項を調節して牽引力 $F_e$ を加えて運動を介助し、あるいは負荷力（負方向の牽引力）を加えることにより、例えば、筋力トレーニングを繰り返し行うことができる。

【0040】図6にはこの訓練ロボット10のハードウェアの構成を説明するブロック図が示されている。

【0041】図6において、訓練ロボット10は、ロボット本体としてのロボットアーム12と、外部パーソナルコンピュータ（以下、「コンピュータ」という）26から基準運動の教示データを受け取り、このデータを処理してロボットアーム12を駆動するロボットコントローラ22を含む。

【0042】ロボットアーム12には、駆動源としてのサーボモータ28、ロボットアーム12の実際の動作位置を検出するポテンシオメータ30および動作制限を行うリミットスイッチ（図示せず）や動作状態を表示するパイロットランプ32が設けられている。

【0043】一方、ロボットコントローラ22は、中央



処理装置（CPU）34、このCPU34とコンピュータ26を接続する通信インターフェース（通信I/F）36、各種データを保存するメモリカード38とCPU34との間で直接データの授受を行うために接続されたメモリカード入出力部（メモリカードI/O）40、およびCPU34に接続されデータを保存するメモリ部42を含む。また、このメモリ部42はメモリカードI/O40に接続されてメモリカード38との間で相互に保存データを授受する。

【0044】メモリ部42には保存データとしてロボット制御プログラムが記憶されている。また、メモリカード38は運動データや個人訓練記録などの個人データを保存するもので、例えば訓練開始時にメモリカード38から個人データをCPU34に読み込み、ロボットアーム12に必要な動作を行わせ、訓練終了後に個人データを保存するなどの目的に使用される。

【0045】更に、CPU34とサーボモータ28との間にはD/A変換器44と駆動回路46、また、ポテンシオメータ30との間にはA/D変換器、さらには図示されないリミットスイッチおよびパイロットランプ32との間にはインターフェース（PIO）50が、夫々設けられている。

【0046】次に上述の構成における動作について説明する。

【0047】先ず、コンピュータ26から人の動作や行動に基づく3次元基準運動の教示データがロボットコントローラ22の通信I/F36を経由してCPU34にロードされる。そして、ロボットコントローラ22ではメモリ部（ROM、RAMを含む）42およびメモリカード38から必要な保存データを読み出し、CPU34で軌道作成、軌道計算あるいは運動再生計算等が行われる。その結果が、D/A変換器44でアナログ信号に変換されて駆動回路46から駆動電流がサーボモータ28に供給されてロボットアーム12が駆動され、人に対して基準運動の教示データに基づく3次元運動を提示する。それにより、例えば、患者や訓練者16の上肢18の訓練動作を行うことができる。

【0048】この場合、ロボットアーム12の実際の動作位置はポテンシオメータ30により検出され、そのアナログ信号はA/D変換器48によりデジタル信号に変換されてCPU34に輸入される。CPU34では基準運動の教示データとのずれ（偏差）を演算して偏差信号をD/A変換器44を経由して駆動回路46に与えることでサーボモータ28が制御されロボットアーム12の軌道復帰が行われる。なお、ロボットコントローラ22はコンピュータ26を介してネットワークに接続することができる。

【0049】また、PIO50によりロボットコントローラ22が外部のパイロットランプ32のオン、オフを行ったり、ロボットアーム12に設けたリミットスイッ

チのオン、オフを複数同時に読み取ったりして動作の安全性を確保する。そして、ロボットコントローラ22から計算された教示軌道20やロボットアーム12の動作に基づく運動軌道が表示部（ディスプレイ）24に表示され、先に説明したように訓練者16は目と手の協調動作を行うことができる。

【0050】さらに、図7および図8には示されるロボットアームの動作ガイド制御フローチャートについて説明する。

（1）基準運動作成フロー：図7において、先ず、ステップS1でロボットコントローラ22のメモリ部42のROMに記憶されているロボット制御プログラムは、動作教示モードに設定される。

【0051】次に、ステップS3で療法士の教示運動、利用者による動作、保存データの読み込みあるいはその他の方法により教示データの生成を行う。この実施例では、コンピュータ26による保存データの読み込みにより人による身体の3次元運動教示データの生成を行う。

【0052】更に、ステップS5ではコンピュータ26から通信I/F36を介してロボットコントローラ22のCPU34に3次元運動教示データを獲得し、ステップS7ではCPU34で3次元軌道生成を実行して3次元軌道を作成する。そして、ステップS9では前のステップS7で作成された3次元軌道に関するデータをメモリ部42のRAMに保存する。これで、基準運動軌道の作成が完了する。

（2）運動再生フロー：この場合は、例えば、訓練を受ける利用者16の上肢18は既にロボットアーム12の先端部14に装着若しくは先端部14を把持しているものとする。

【0053】図8において、ステップS11でロボットコントローラ22のメモリ部42のROMに保存されているロボット制御プログラムを動作再生モードに設定する。そして、メモリ部42のRAMに保存されている3次元基準運動軌道の教示データがCPU34に読み込まれる。

【0054】次に、ステップ13では、ポテンシオメータ30によりロボットアーム12の実際の動作位置が検出され、その検出信号がA/D変換器48を経由してCPU34にデジタル信号としてフィードバックされる。ステップS15ではフィードバックされた検出信号に基づきCPU34で基準運動軌道からの位置・時間のずれ量を計算すると共に、ステップS17では、このずれ量に応じて軌道復帰の為のロボットアーム12の発生反力を計算する。

【0055】そして、ステップS19ではステップS17で計算された発生反力に対応した駆動電流を駆動回路46よりサーボモータ28に供給し、ロボットアーム12を軌道復帰するように駆動する。この際、ロボットアーム12より利用者16の上肢18を完全に位置拘束し



ない仮想ばね、粘性パラメータ等の変更・調整により滑らかな軌道復帰を行えるようにステップ S 13 に修正を行う。

【0056】なお、図7に示すフローに従い人の3次元動作軌道に関するデータを取得し、ここで得られたデータに基づいて図8に示すフローを他の訓練ロボットで実行してもよい。

【0057】次に、図9に示すこの発明の他の実施例（第2実施例）について説明する。

【0058】この第2実施例においては、先に説明した第1の実施例で示したロボットアーム12を拡張して3軸の姿勢制御を付加し、ロボットアーム12の先端部14に3軸姿勢制御部25を加え、6軸以上のロボットアーム12を構成することにより、姿勢を含めた運動提示を行うことが可能である。これにより、例えば姿勢制御が必要な絵画、書道、字書等のトレーニングへの適用が可能となる。

【0059】また、図10に示すこの発明によるさらに他の実施例（第3実施例）は、先に説明した第1実施例および第2実施例の訓練ロボット10を、例えば利用者の自宅や訓練センター等に配置し、ネットワークを通じて多くの人に利用できるようにした訓練ロボットシステムである。

【0060】図10（a）に示すようにネットワークで利用することにより、例えばインターネット52を介してホストコンピュータ（外部サーバー）より基準運動の教示データを先に説明した訓練用ロボット10を所有する複数の患者または利用者16に対して配信、あるいは互いに送受信し、オンライン、またはこの運動教示データをロボットコントローラ22のメモリ部42に保存してオフラインで運動再生を行うことが可能である。

【0061】さらには、図10（b）に示すように、実時間でホストコンピュータ（外部サーバー）から運動教示データを複数の訓練用ロボット10に配信し、講師等54が複数の受講者（利用者）16に対して同時に、例えば書道などのトレーニングを、インターネットなどの\*

\* ネットワーク52を通じて行うことも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明による第1の実施例を示す訓練ロボットの概略構成を説明する斜視図である。

【図2】この発明で使用する3次元軌道データの斜視図である。

【図3】図2におけるX-Y平面およびX-Z平面における軌道分解図である。

【図4】図2における軌道復帰（拘束）力および軌道方向拘束力の計算を行うための概念図である。

【図5】図4に相当する他の概念図である。

【図6】この発明による訓練ロボットAのハードウェアの構成を示すブロック図である。

【図7】ロボットアームによる基準運動作成の動作を示す制御フローチャートである。

【図8】ロボットアームによる運動再生の動作を示す制御フローチャートである。

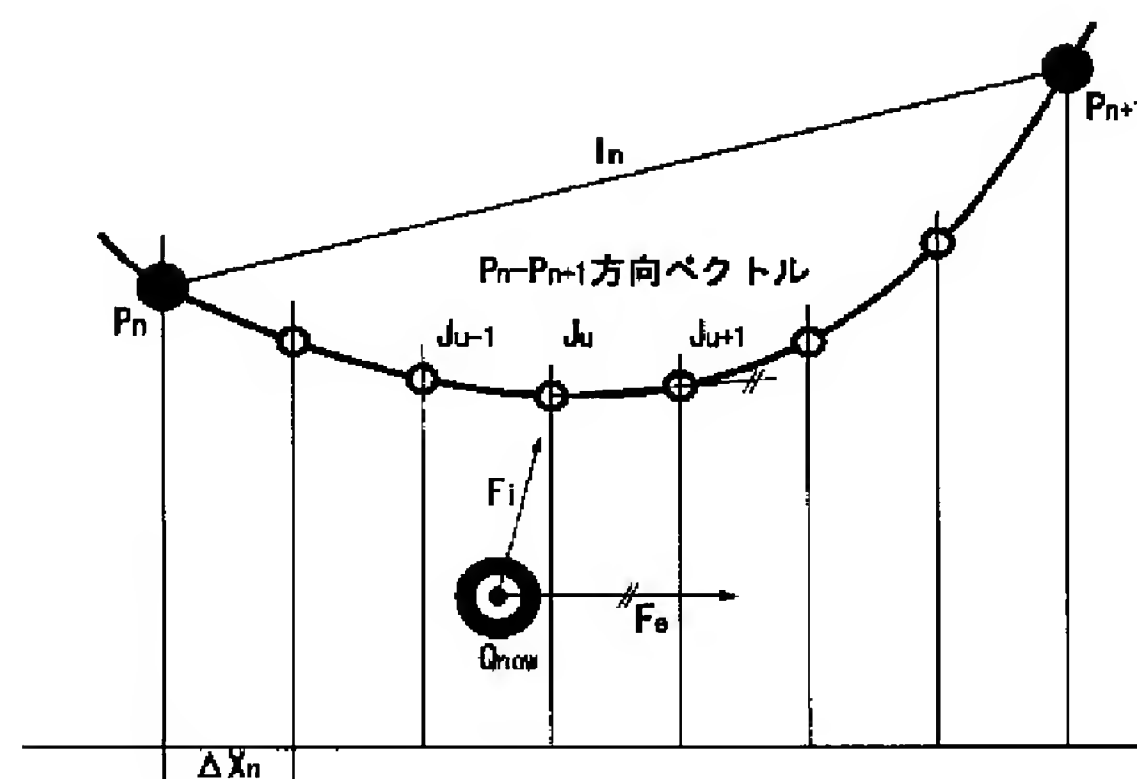
【図9】この発明の他の実施例である姿勢制御部を含む訓練ロボットの概略構成を示す斜視図である。

【図10】（a）および（b）は、いずれもこの発明のさらに他の実施例であるネットワークを利用した訓練ロボットシステムの説明図である。

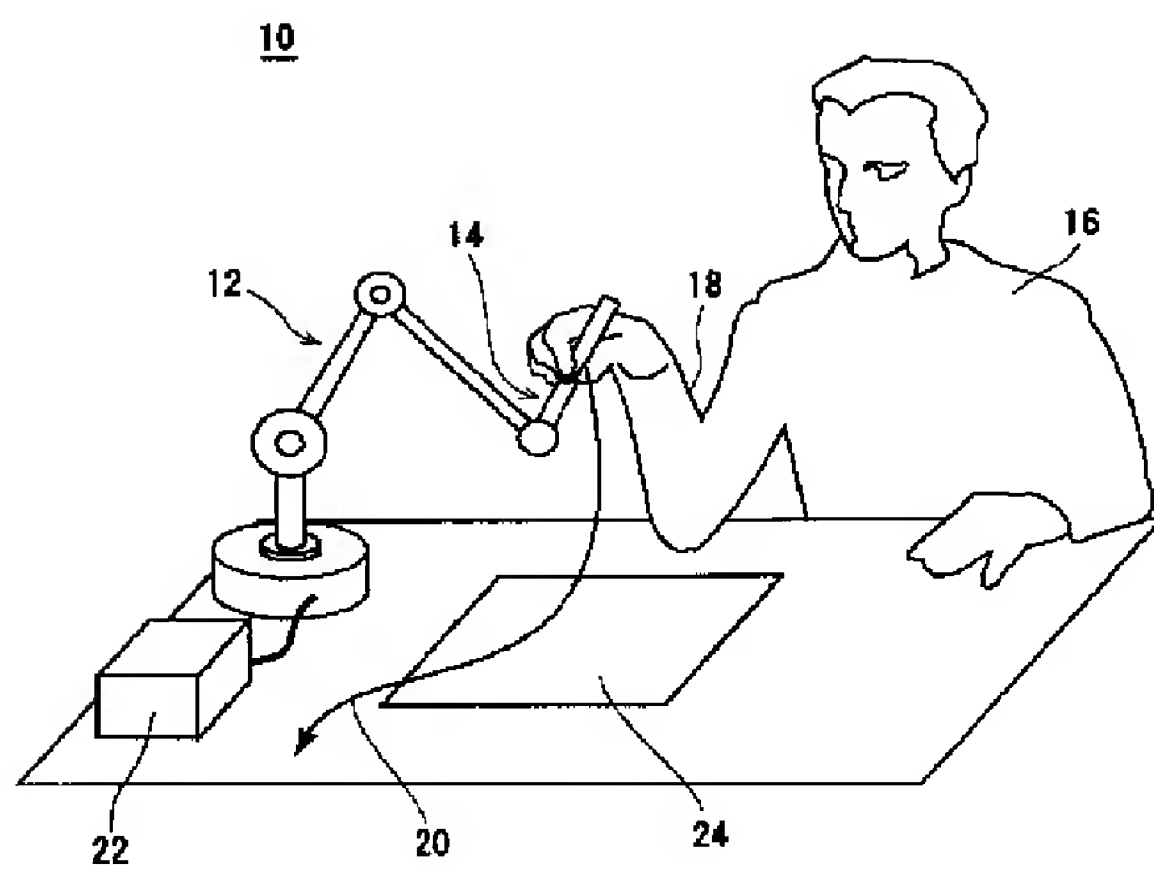
【符号の説明】

- 10 …訓練ロボット
- 12 …ロボットアーム
- 14 …ロボットアームの先端部
- 15 …把持・装着部
- 16 …利用者（患者あるいは訓練者も含む）
- 18 …上肢
- 20 …教示運動軌道
- 22 …ロボット制御部（ロボットコントローラ）
- 24 …表示部（ディスプレイ）
- 25 …姿勢制御部
- 26 …コンピュータ
- 52 …インターネット（通信手段）

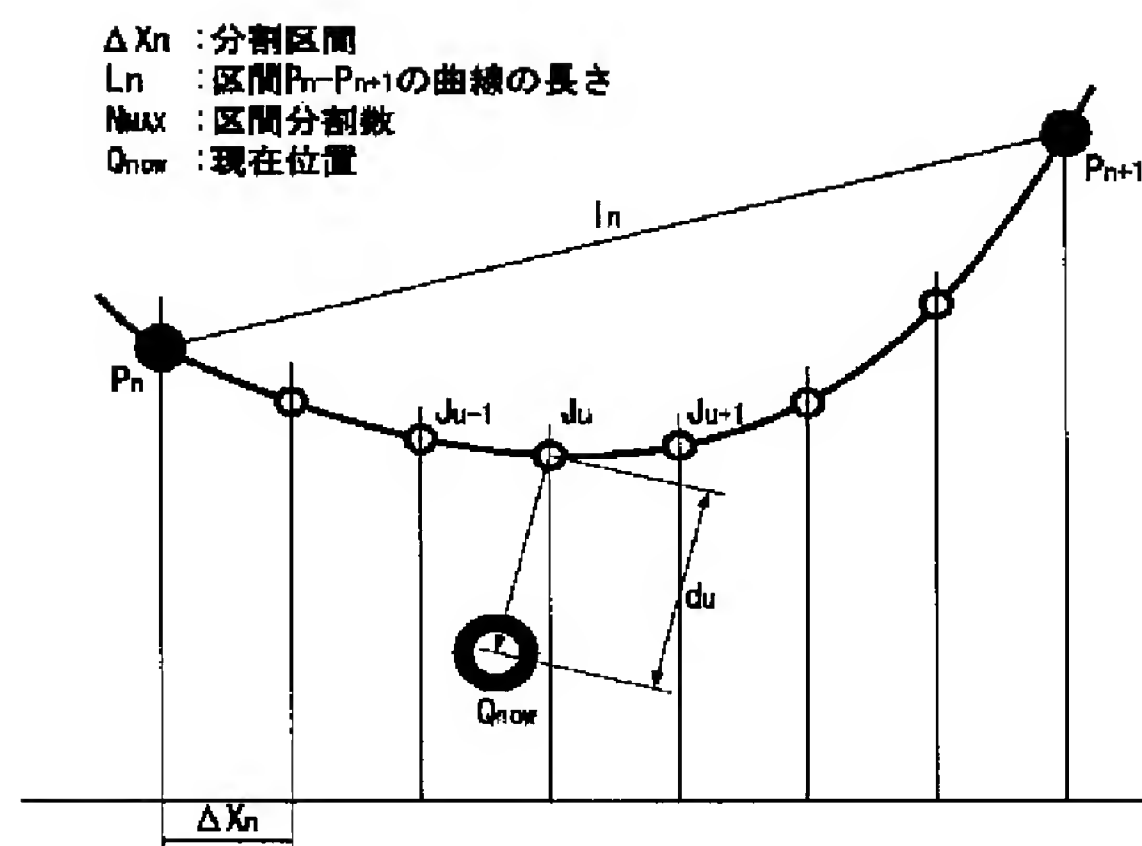
【図5】



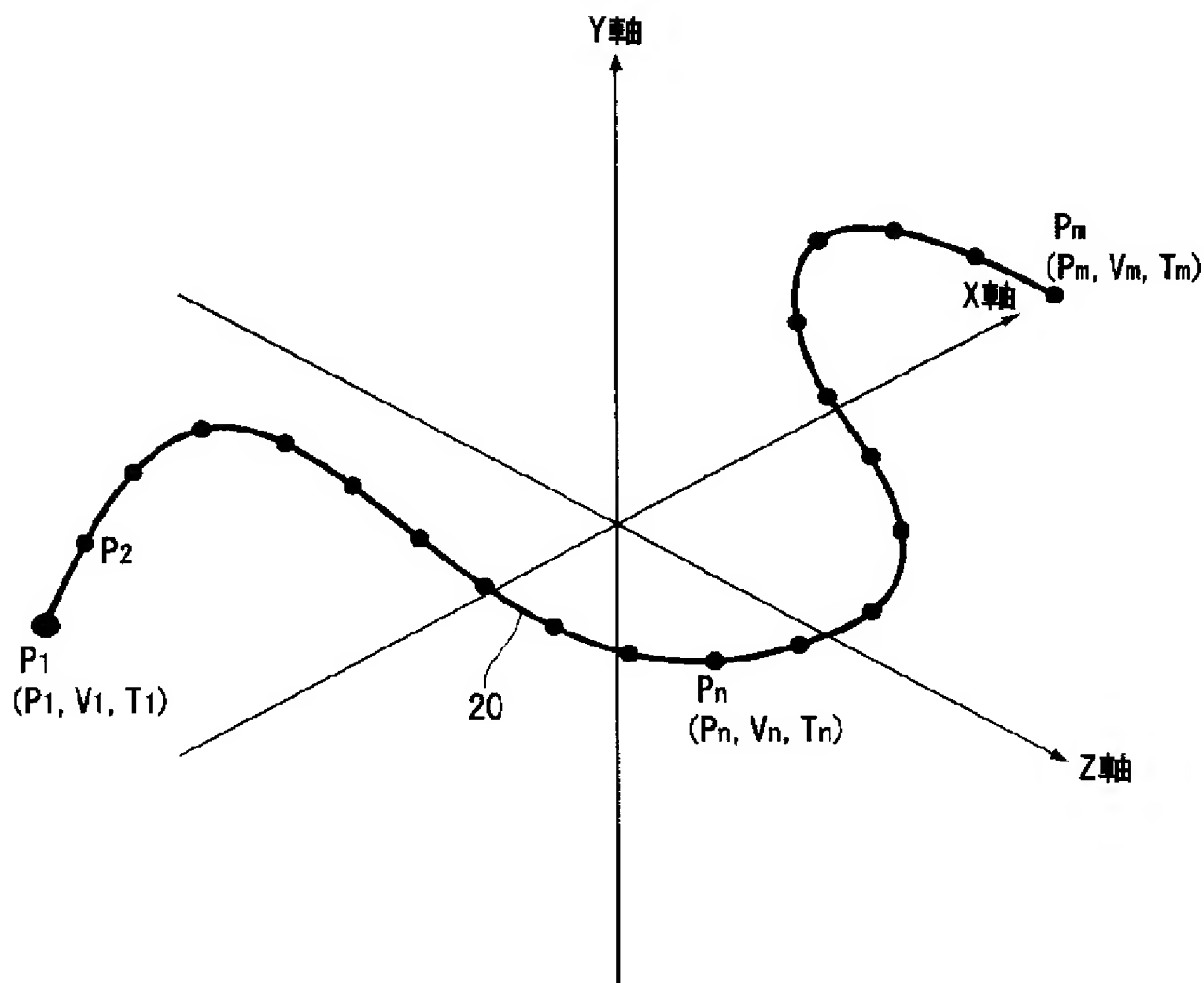
【図1】



【図4】

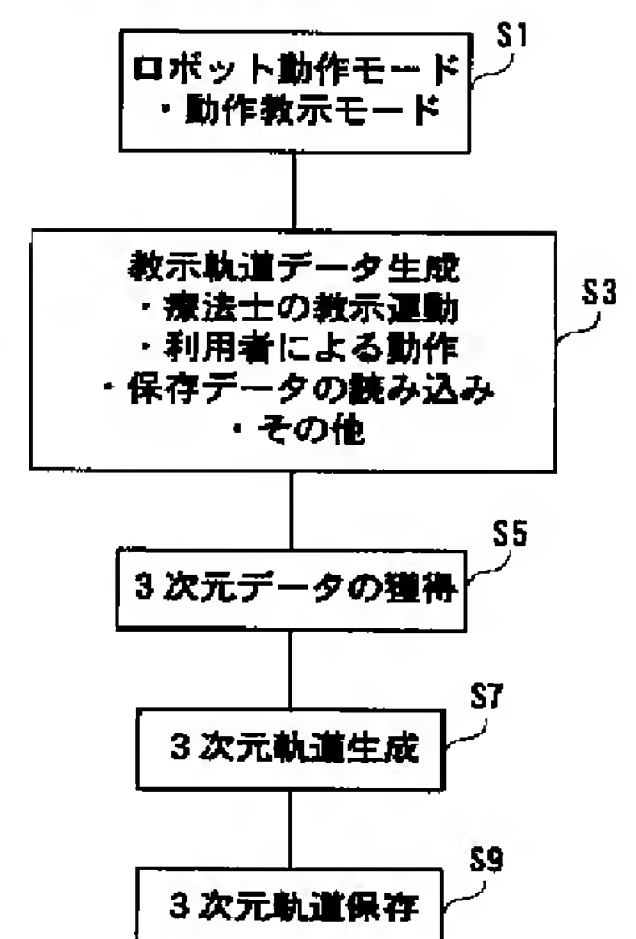


【図2】

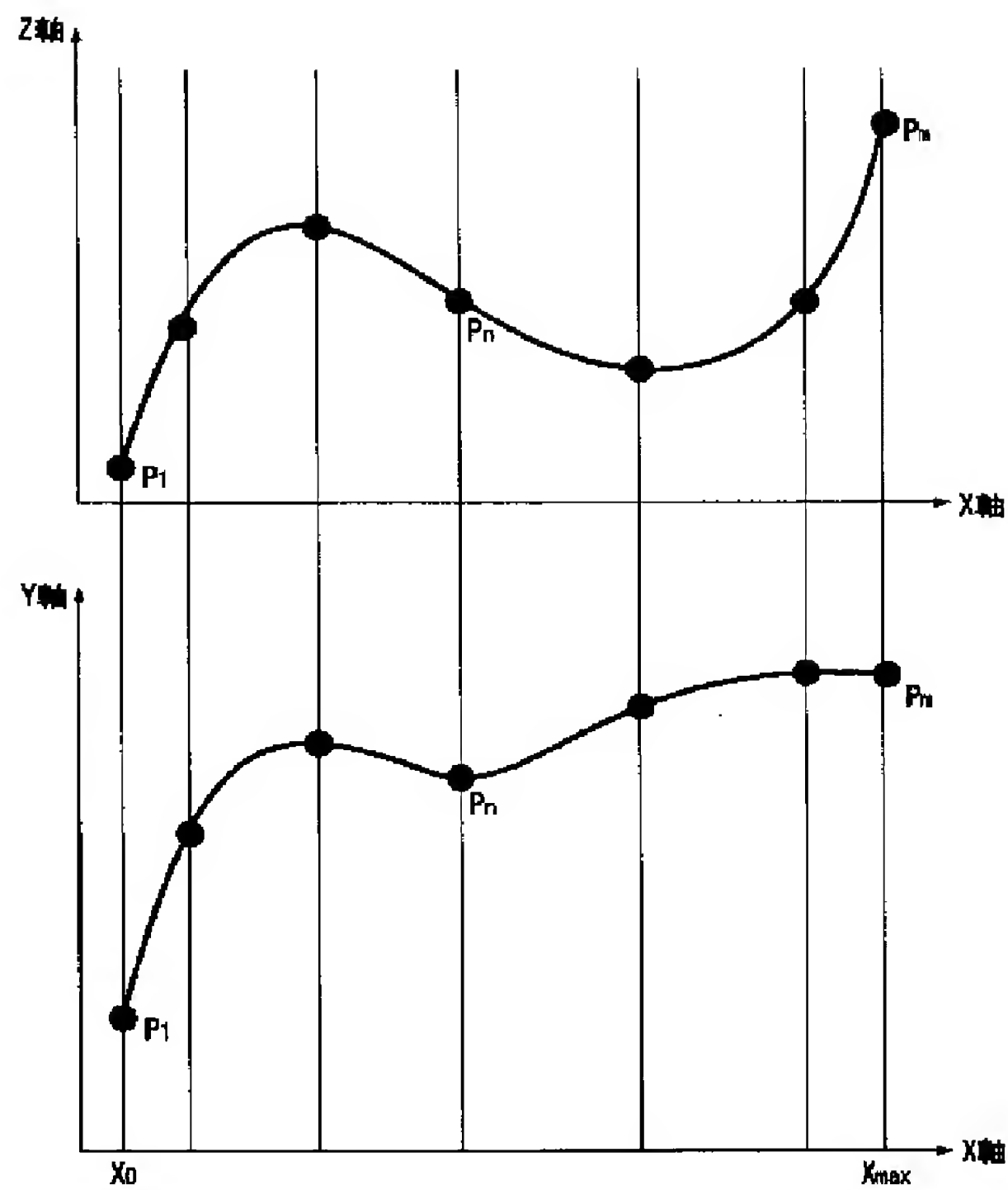


【図7】

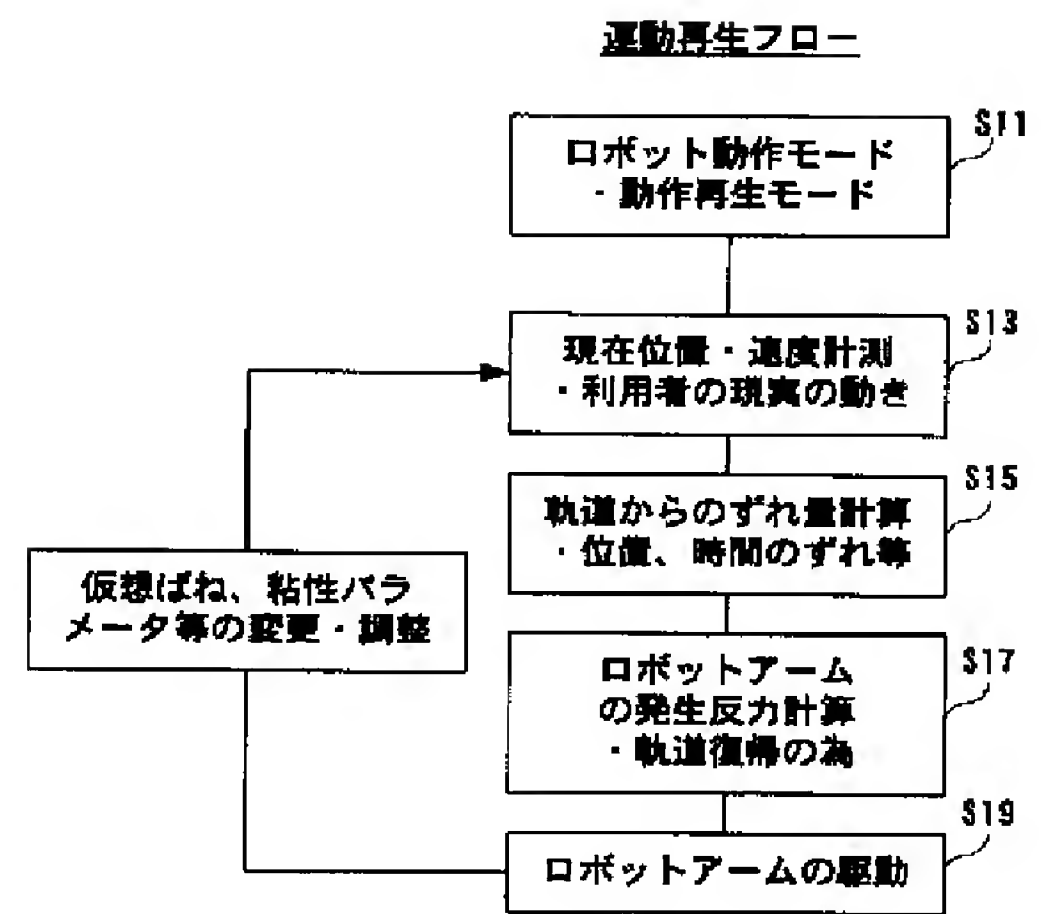
## 基準運動作成フロー



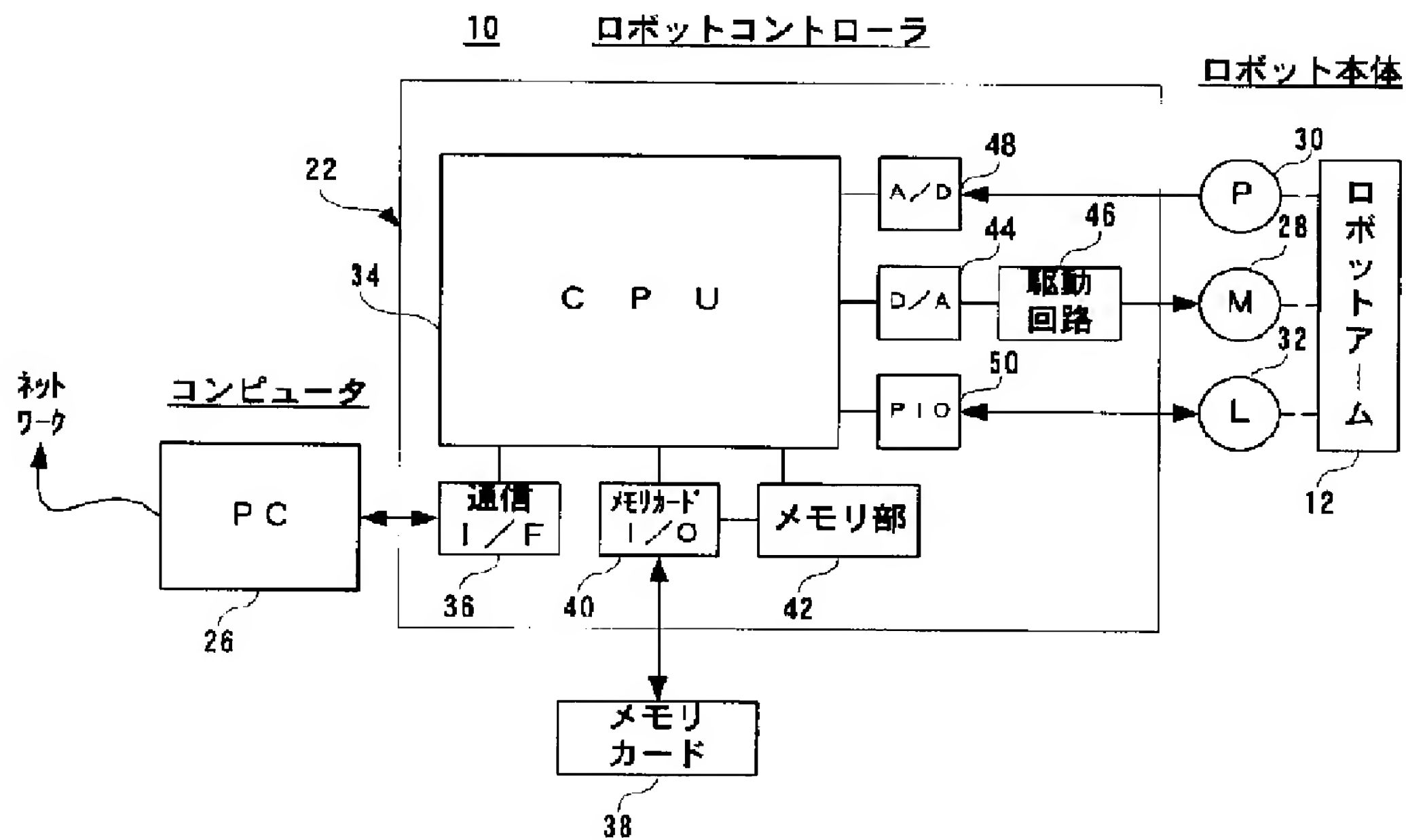
【図3】



【図8】

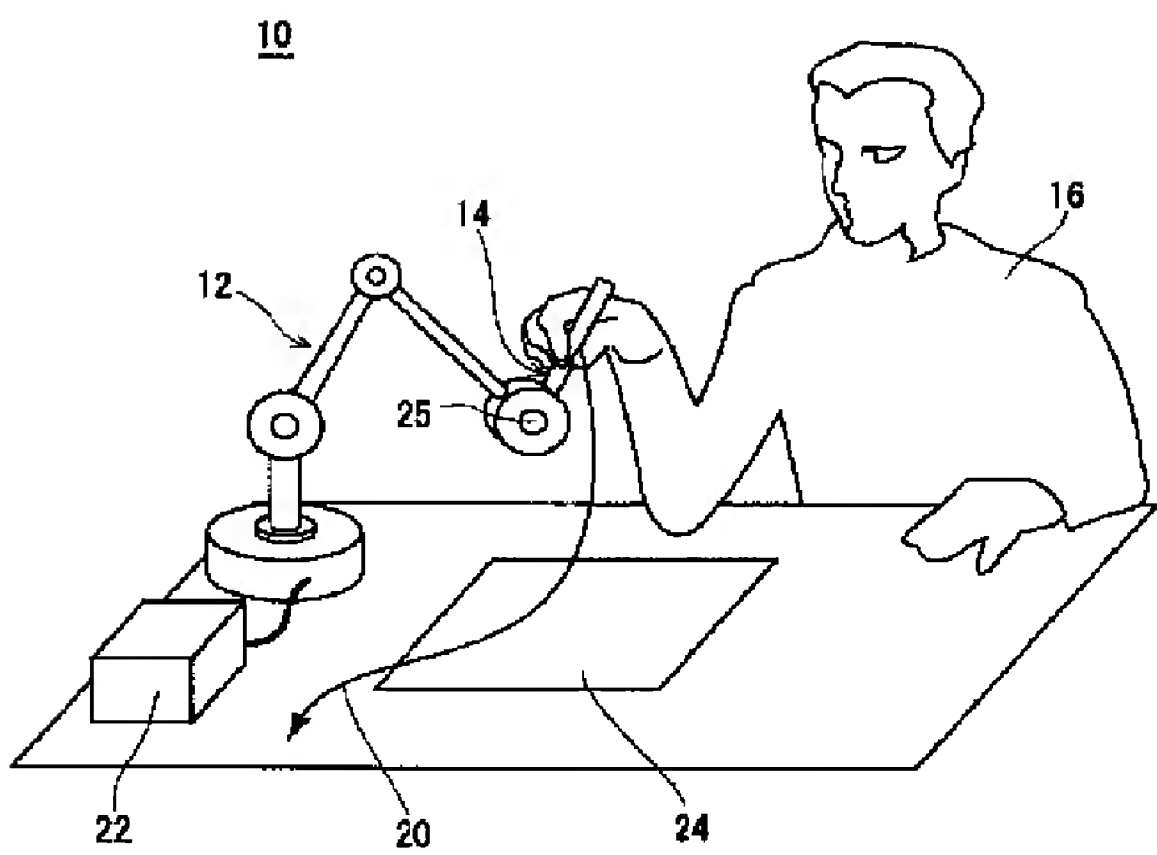


【図6】





【図 9】



【図 1 0】

